

Isparta Işıkkent Mahallesi Pomzalı Zeminin Dinamik Özelliklerinin Belirlenmesi

Kutay GÜLER*¹ , S. Nilay KESKİN*² 

^{1,2}Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 32200, Isparta, Türkiye

(Alınış / Received: 09.04.2025, Kabul / Accepted: 30.06.2025, Online Yayınlanma / Published Online: 25.08.2025)

Anahtar Kelimeler

Pomza zemini,
Dinamik basit kesme deneyi,
Sıvılaşma potansiyeli,
Hacimsel deformasyon

Öz: Bu çalışmada, Isparta'nın Işıkkent Mahallesi'nde bulunan inşaat sahasından alınan pomza içeren zemin numunesinin doygun haldeki drenajsız ve drenajlı dinamik davranışları incelenmiştir. Çalışmada, VJ Tech DSS-C dinamik basit kesme cihazı kullanılarak gerilme kontrollü deneyler gerçekleştirilmiştir. Numuneler, 0.2, 0.25 ve 0.3 olmak üzere üç farklı dinamik gerilme oranında, 1 Hz frekansta tekrarlı yüklemelere tabi tutulmuştur. Drenajsız deneylerde numunelerin sıvılaşma eğilimleri ve aşırı boşluk suyu basıncı gelişimi değerlendirilirken, drenajlı deneylerde hacimsel deformasyon ve düşey efektif gerilme değişimleri incelenmiştir. Sonuçlar, dinamik gerilme oranının artışıyla kayma deformasyonlarının büyüdüğünü ve drenajsız koşullarda numunelerin sıvılaşma potansiyelinin arttığını göstermektedir. Drenajlı deneylerde ise zeminlerin hacimsel deformasyona uğradığı belirlenmiştir. Çalışma, pomza içeren zeminlerin dinamik özelliklerinin mühendislik açısından değerlendirilmesine katkı sağlamaktadır.

Determination of Dynamic Properties of Pumice Soil in Isparta Işıkkent District

Keywords

Pumice soil,
Dynamic simple shear test,
Liquefaction potential,
Volumetric strain

Abstract: In this study, the saturated undrained and drained dynamic behaviors of a pumice-containing soil sample collected from a construction site located in the Işıkkent District of Isparta were investigated. Stress-controlled tests were conducted using the VJ Tech DSS-C dynamic simple shear device. The samples were subjected to cyclic loading at a frequency of 1 Hz under three different cyclic stress ratios: 0.2, 0.25, and 0.3. In the undrained tests, the liquefaction tendency of the samples and the development of excess pore water pressure were evaluated, while in the drained tests, volumetric deformation and changes in vertical effective stress were examined. The results indicate that an increase in cyclic stress ratio leads to greater shear deformations and a higher liquefaction potential under undrained conditions. In the drained tests, the soils were observed to undergo volumetric deformation. This study contributes to the engineering evaluation of the dynamic properties of pumice-containing soils.

1. Giriş

Depremlerin yeryüzünde oluşturacakları etkiler, depremin karakteristiğine, bölge zemininin özelliklerine, doğru temel tipinin seçimine ve uygun yapı dizaynına göre değişmektedir. Özellikle depremin gerçekleştiği zeminlerin, mühendislik özelliklerinin önceden belirlenmesi büyük bir öneme sahiptir. Bu duruma örnek olarak 27.06.1998 tarihinde gerçekleşmiş 6,2 büyüklüğündeki Ceyhan depremi, 17.08.1999 tarihinde gerçekleşmiş 7,8

büyüklüğündeki Gölcük depremi ve 01.05.2003 tarihinde gerçekleşmiş 6,4 büyüklüğündeki Bingöl depremi gösterilebilir. Bu depremlerde en çok hasar, genellikle dolgu gibi zayıf, yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu vb. zeminlerde görülmüştür. Bu durum, deprem dalgalarının oluşturdukları etkilerin, geçtikleri zeminin özelliklerine göre değişime uğradığını göstermektedir. Verilen örneklerden de görüleceği üzere bir bölgenin yerel zemin özellikleri ile depremin oluşturduğu etkiler arasında çok kuvvetli bir ilişki bulunmaktadır [1].

*Sorumlu yazar: kutayguler81@gmail.com

Öncelikle temellerin üzerine inşa edildiği zeminin mühendislik özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. İyi tasarlanmış bir temel tasarımı, zeminin olumsuz koşullarında bile üst yapı yükünü zemin tabakasına güvenle aktarmalıdır. Bir yapı ve temeli çeşitli afet durumlarında hasar görmeden görevini devam ettirebildiği sürece başarılı bir tasarım ve uygulama yapıldığı söylenebilir. Bu da zeminin statik davranışının yanında, deprem yükleri altındaki dinamik davranışının da iyi bilinmesini gerektirmektedir [2].

Pomza bakımından zengin zeminler, bir kısmı Isparta il merkezinin yerleşim alanı altında, Isparta'nın batı, kuzey batı ve güney batısında yaklaşık 150 m² alana yayılmıştır [3]. Pomza parçacıkları, gözenekli yapıları nedeniyle son derece ezilebilir, sıkıştırılabilir ve hafiftir [4-7]. Bu özellikler nedeniyle pomza içeren zeminler, taşıma gücü ve dinamik şartlar altındaki davranışı açısından sorunlu olabilmektedir. Literatürdeki bazı çalışmalarda karbonat kumu, Shirasu volkanik kumu, kireçli kum, Masado, granüle kömür külü ve ticari olarak temin edilebilen saf pomza gibi kırılabilir malzemelerin dinamik davranışı araştırılmış olsa da pomza içeren doğal zeminlerin sismik tepkisi hakkında pek fazla çalışma bulunmamaktadır [8].

Literatürde pomzanın dinamik davranışını inceleyen çalışmaların büyük çoğunluğu, drenajsız koşullara ve sıvılaşma potansiyeline odaklanmaktadır. Ancak, Isparta ilinde yeraltı su seviyesinin yüzeyden oldukça derinde bulunması, pomzanın drenajlı koşullardaki davranışının da araştırılmasını gerekli kılmaktadır. Bu çalışmada, Isparta ilinin Işıkkent Mahallesi'nden alınan örselenmiş pomza numuneleri üzerinde drenajsız ve drenajlı dinamik basit kesme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen deney sonuçları karşılaştırılarak, pomzanın drenajlı ve drenajsız koşullardaki dinamik davranışı arasındaki farklılıklar değerlendirilmiştir.

2. Literatür Özeti

Bu bölümde, literatürde ince ve iri danelerle gerçekleştirilen dinamik deneyler ile pomza zeminine üzerine yapılan çalışmaların özetleri sunulmaktadır.

1998 yılında Marks vd. Yeni Zelanda pomza kumunun dinamik özelliklerini araştırmışlardır. Pomzanın sıvılaşma tepkisinin kuvars kumlarına benzediği ancak düşük şekil değiştirme kayma modülünün daha da düşük olduğu belirlenmiştir. Pomza kumunun orta şekil değiştirme aralığında doğrusal davrandığı, ancak büyük şekil değiştirmelerde hızla doğrusal olmayan davranış sergilediği tespit edilmiştir [9].

2002 yılında Teachavorasinskun vd. tarafından yapılan çalışmada örselenmemiş Bangkok kil numunelerinin kayma modülü ve sönüm oranı dinamik üç eksenli cihaz ile ölçülmüştür. Kayma modülü literatürdeki benzer killere uyumlu

bulunmuş, sönüm oranlarının küçük deformasyonlarda %4-5; büyük deformasyonlarda %25-30 arasında değiştiği belirlenmiştir. Deney frekansının kayma modülü üzerinde etkisi olmadığı, ancak sönüm oranını azalttığı gözlemlenmiştir [10].

2003 yılında Altun ve Ansal suya doymuş kumların dinamik yükler altındaki gerilme-şekil değiştirme özelliklerini araştırmışlardır. Çalışmada, çevre gerilmesi, çevrim sayısı ve boşluk oranı gibi faktörlerin kayma modülü ve sönüm oranı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Sonuçlar, çevre basıncı ve çevrim sayısının kayma modülünü artırdığını, ancak sönüm oranını azalttığını göstermiştir [11].

2003 yılında Okada vd. Yeni Zelanda'daki pomza zeminlerde sismik tasarım uygulamalarını incelemişlerdir. Geleneksel sıvılaşma analiz yöntemlerinin güvenilir olmadığı belirlenmiştir. Pomza zeminlerde bazı arazi testleri güvenilir bulunurken, koni penetrasyon deneyi (CPT) ve Scala penetrometresinin düşük güvenilirlik gösterdiği belirlenmiştir. Zeminin sıklığı artırılarak sıvılaşma riskinin azaltıldığı belirlenmiştir [12].

2004 yılında Sitharam vd. Ahmedabad bölgesinden alınan zemin numunelerinin dinamik zemin özelliklerini ve sıvılaşma potansiyelini incelemişlerdir. Farklı sıklıklardaki kum numunelerine 1 Hz frekansta yükleme uygulanmış ve sıklık arttıkça kayma modülünün yükseldiği belirlenmiştir. Ayrıca, sıklığın artması sıvılaşma potansiyelini azaltmıştır [13].

2005 yılında Elibol ve Erken doymuş, kısmi doymuş ve kuru kum numunelerinin dinamik davranışlarını araştırmışlardır. Çalışmada, Skempton-B parametresi, elastisite modülü ve göçme direnci ilişkisini değerlendirmişlerdir. Sonuçlar, doymuşluk derecesi düşük numunelerin sıvılaşmaya karşı daha dirençli olduğunu göstermiştir [14].

2006 yılında Pender vd. Yeni Zelanda pomza kumunun geoteknik özellikleri araştırmışlardır. Pomzanın yüksek boşluk oranı ve kırılabilir taneleri nedeniyle sıkıştırılabilir bir malzeme olduğunu belirtmişlerdir. Normal gerilme seviyelerinde bile taneli kırılma görülmüş, bu durumun kayma mukavemeti ve sertliği üzerinde büyük etkisi olduğu tespit edilmiştir [5].

2008 yılında Meidani vd. çakıl-kil karışımlarının dinamik yükler altındaki davranışlarını inceleyerek çakıl içeriği ve şeklinin kayma modülü ile sönüm oranına etkisini araştırmışlardır. Yuvarlak çakılların daha iyi sıkıştığı ve daha yüksek kayma modülüne sahip olduğu bulunmuştur. Ayrıca, yuvarlak çakılların sönüm oranlarının daha düşük olduğu gözlemlenmiştir [15].

2008 yılında Salvati ve Anhdan yükleme frekansının kumların dinamik davranışına etkisini

incelemişlerdir. Düşük frekanslı yüklemelerde daha büyük eksenel şekil değiştirmeler gözlemlenmiştir. Özellikle ilk birkaç döngüde şekil değiştirme hızının frekansa bağlı olarak değiştiği belirlenmiştir [16].

2015 yılında Cai vd. kum numunelerinde bender eleman (BE) deneyleri yaparak kayma dalgası hızlarını araştırmışlardır. BE deneyleri ile rezonant kolon (RC) ve burulmalı kesme (TS) deneylerinden elde edilen sonuçları karşılaştırmışlardır. İnce dane içeriğinin kayma dalgası hızını etkilediği ve Biot teorisinin BE deneylerinde daha uygun olduğu belirlenmiştir [17].

2016 yılında Karakan ve Altun Bayraklı bölgesinden alınan siltli kumların sıvılaşma davranışını incelemişlerdir. Silt içeriği %40'ın altında ise sıvılaşmaya yatkınlık artarken, %40'ın üzerinde direnç sağladığı tespit edilmiştir. Silt içeriği arttıkça hacimsel deformasyonların arttığı belirlenmiştir [18].

2017 yılında Monkul vd. kuru kum numunelerinin sıvılaşma potansiyelini dinamik basit kesme deneyleriyle incelemişlerdir. Çalışmada, çevrimsel kayma gerilmesi oranı azaldıkça sıvılaşma direncinin arttığını gösterilmiştir. Rölatif sıkılığın artırılmasının sıvılaşma direncini yükselttiği belirlenmiştir [19].

2018 yılında Asadi vd. pomza kumlarının sıvılaşma direnci, kayma dalgası hızı (V_s) bazlı yöntemle araştırmışlardır. Pomzanın düşük (V_s) ve yüksek çevrimsel direnç oranına sahip olduğu belirlenmiştir. Mevcut çevrimsel dayanım oranı (CRR)- V_s korelasyonlarının pomza kumları için güvenilir olmadığı, bu ilişkilerin yeniden değerlendirilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır [20].

2018 yılında Hubler vd. çakıllı zeminlerin monotonik ve tekrarlı kayma davranışını incelemişlerdir. Çalışmada, çakıl-kum karışımlarının rölatif sıkılık, karışım yüzdesi ve başlangıç düşey gerilmesine bağlı olarak sıvılaşma direnci değerlendirilmiştir. Sonuçlar, belirli karışım oranlarının en yüksek sıvılaşma direncine sahip olduğunu göstermiştir [21].

2019 yılında Sönmezer kumların sıvılaşma davranışını farklı dane çaplarına ve silt içeriklerine göre incelemiştir. Silt içeriği arttıkça sıvılaşma direnci azalmış, ancak rölatif sıkılığın artışı sıvılaşma enerjisini arttırdığı belirlenmiştir. Kum türüne bağlı olarak ince dane içeriğinin etkisi değişiklik göstermiştir [22].

2020 yılında Rui vd. tane şeklinin kireçli kumların sıvılaşma direnci üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Köşeli ve düzensiz tanelerin sıvılaşmaya karşı daha yüksek direnç gösterdiği ve boşluk suyu basıncı oluşumunu geciktirdiği belirlenmiştir [23].

2021 yılında Zhu vd. yükleme frekansının kum zeminlerin sıvılaşma davranışına etkisini

incelemişlerdir. Gerilme kontrollü deneylerde, yükleme frekansı arttıkça sıvılaşma dayanımının arttığı belirlenmiştir [24].

2022 yılında Marzuni vd. dinamik gerilme oranı ve ince dane içeriğinin sıvılaşma potansiyeline etkisini araştırmışlardır. %30 ince dane içeriğine kadar sıvılaşma direncinin azaldığı, ancak bu seviyeden sonra direncin tekrar arttığı belirlenmiştir. Drenaj kapasitesinin azalması sıvılaşma eğilimini artırırken, yüksek silt içeriği zeminin sıvılaşma potansiyelini düşürdüğü sonucuna varılmıştır [25].

2024 yılında Chaneva vd. pomza ve ince dane içeriğinin sıvılaşma ve tane kırılması üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Yüksek pomza içeriği tane kırılmasını artırırken, ince dane içeriği arttıkça kırılma azaldığı tespit edilmiştir. Pomza içeriğinin boşluk suyu basıncını artırdığı ve sıvılaşmayı erken başlattığı belirlenmiştir [26].

2024 yılında Gardiner vd. pomza içeriğinin sıvılaşma direnci üzerindeki etkisi araştırmışlardır. Pomza oranı arttıkça sıvılaşma direncinin azaldığı belirlenmiştir. %40'tan %80 pomza içeriğine kadar dirençte belirgin bir düşüş gözlemlenmiş, yüksek pomza içeriğinde aşırı boşluk suyu basıncının daha hızlı arttığı elde edilmiştir [27].

3. Materyal ve Metot

3.1. Materyal

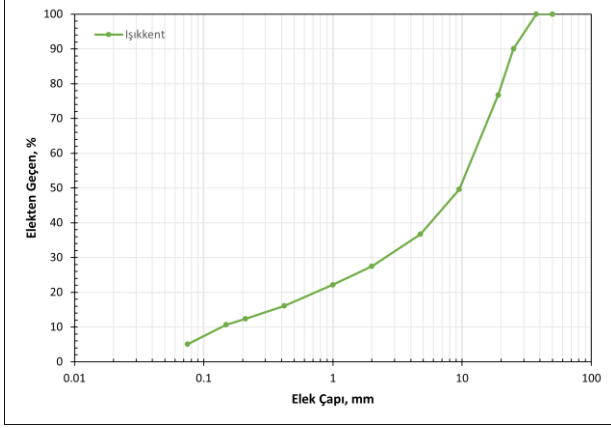
Bu çalışmada kullanılan zemin numuneleri; Isparta İli, Merkez İlçesi, Işıkkent Mahallesi'nden örselenmiş olarak alınmıştır. Araziden alınan zemin numunelerinin indeks özelliklerini belirlemek amacıyla ASTM C117-23 ve C136/136M-19' göre elek analizi, D4318-17e1' göre plastik limit, D854-23'e göre piknometre, C127-24'e göre su emme ve D4253-16e1'e göre maksimum/minimum boşluk oranı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Laboratuvar deneyleri sonucunda elde edilen zemin indeks özellikleri Tablo 1'de verilmiştir [28-33]. Elek analizi sonucunda elde edilen granülometri eğrisi Şekil 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Işıkkent numunesine ait zemin indeks özellikleri

Zemin indeks özellikleri	Işıkkent
D_{60}	12.27
D_{30}	2.55
D_{10}	0.13
C_u	94.38
C_c	4.08
İnce Dane (%)	5.04
ω_L	32
ω_P	NP
Zemin sınıfı	GP
γ_s (g/cm ³)	2.44

e_{max}	0.98
e_{min}	0.71

Burada; D_{60}, D_{30}, D_{10} , sırasıyla zeminin %60, %30 ve %10'unun geçebildiği elek açıklığına karşılık gelen tane çapı; C_u , üniformluk katsayısı; C_c , eğrilik katsayısı; ω_L , likit limit; ω_p , plastik limit; γ_s , dane birim hacim ağırlık; e_{max} , maksimum boşluk oranı; e_{min} , minimum boşluk oranıdır.



Şekil 1. Araziden alınan numuneye ait granülometri eğrisi

3.2. DSS-C deney sistemi

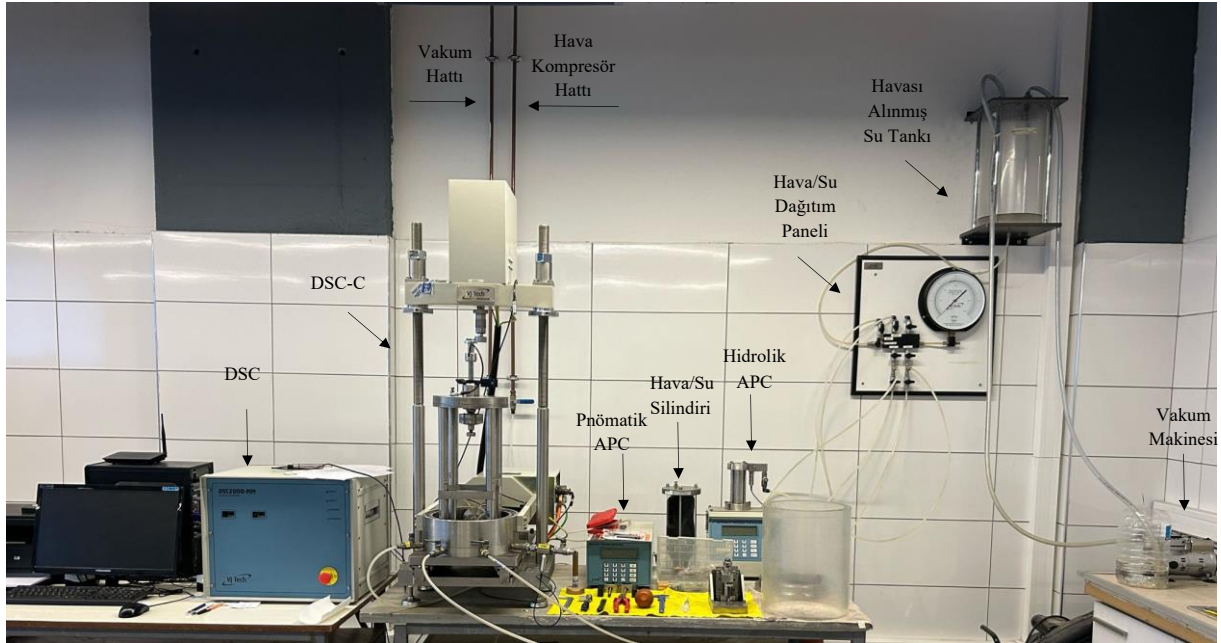
Bu çalışmada pomza içeren zeminin drenajlı ve drenajsız dinamik davranışı, İstanbul Teknik Üniversitesi Zemin Dinamiği Laboratuvarı'nda bulunan VJ Tech DSS-C cihazında incelenmiştir. Deney sistemi, DSS-C cihazı, DSC ünitesi (Dynamic Servo Controller), pnömatrik otomatik basınç kontrolörü (APC), hidrolik otomatik basınç kontrolörü (APCH),

hava kompresörü, hava-su silindiri, vakum makinesi ve su tankından oluşmaktadır (Şekil 2). Deney aleti zeminlerin doymun veya kısmi doymun olarak drenajlı ve drenajsız biçimde test edilmesine olanak sağlamaktadır. Deney sistemi, Clisp Studio yazılımı kullanılarak kontrol edilmektedir. Deney prosedürü doyurma, konsolidasyon ve tekrarlı yükleme olarak üç aşamadan oluşmaktadır. Doyurma aşamasında numunelerin doymunluğu Skempton (1954) tarafından önerilen B parametresi ile kontrol edilmektedir [34]. B değeri ≥ 0.95 ise numuneler doymun kabul edilmektedir. Doyurma aşamasında ilk olarak numunelere 50 kPa hücre basıncı uygulanmakta ve başlangıç doymunluğu Denklem 1 ile kontrol edilmektedir.

$$B = \frac{\Delta u}{\Delta \sigma_3} \quad (1)$$

Burada; Δu , boşluk suyu basıncındaki değişimi; $\Delta \sigma_3$, hücre basıncındaki değişimi temsil etmektedir.

Doymun olmayan numunelere artan hücre basıncı ve ters basınç uygulanarak su girişi yapılarak numune doymun hale getirilmeye çalışılmaktadır. Konsolidasyon aşamasında numuneler; izotropik, anizotropik ve K_0 koşullarda konsolide edilebilmektedir. Tekrarlı yükleme aşamasında, numuneler gerilme kontrollü ve deformasyon kontrollü olarak test edilebilmektedir. Bu aşamada numunelere istenilen dinamik gerilme oranında (DGO) ve yükleme frekansında drenajlı veya drenajsız koşullarda tekrarlı yüklemeler uygulanmaktadır.



Şekil 2. Hücre basınçlı dinamik basit kesme deney düzeneği (DSS-C)

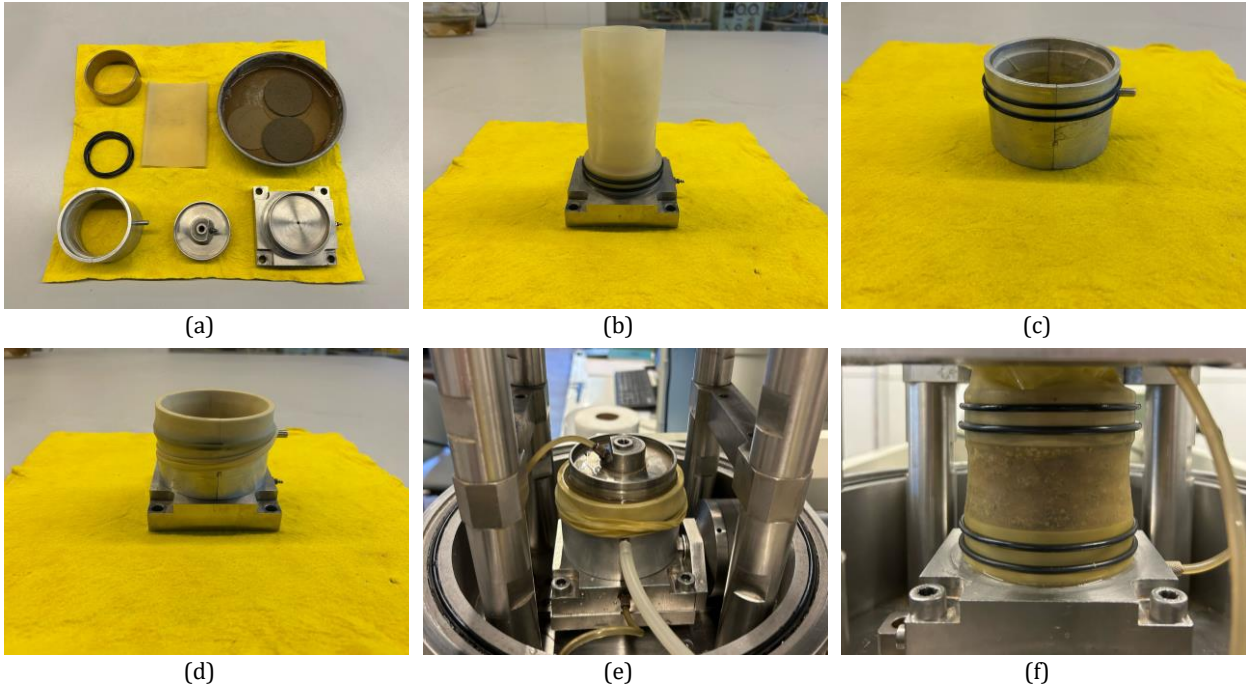
3.3. Numune hazırlanması

Dinamik basit kesme deneyi için numune hazırlanırken öncelikle numuneler No 4 eleğinden elenerek 4.75mm çapından küçük daneler kullanılmıştır. Ardından Tablo 1'de verilen

e_{max} , e_{min} ve γ_s değerleri kullanılarak, hedeflenen %30 rölatif sıklık değeri için gerekli numune miktarı ve su miktarı hesaplanmıştır.

Bu çalışmada kullanılan numuneler, gerilme kontrollü olarak tam doygun halde test edilmiştir. DSS-C cihazında numune hazırlamak için öncelikle doygun halde bulunan poroz taşlar ve filtre kağıtları numune alt ve üst başlığı içerisine yerleştirilmiştir. Daha sonra lateks membran alt başlık üzerine yerleştirilmiş ve 2 adet O-ring ile sabitlenmiştir. 2 parçadan oluşan 35 mm yüksekliğinde ve 70 mm çapındaki mıkmatıslı kalıp, O-ringler ile alt başlık üzerine yerleştirilmiştir. Membranın fazlalık kısmı numune kalıbı üzerine gergin şekilde kıvrılmıştır. Hazırlanan kalıp, DSS-C'nin numune hazırlama bölümüne yerleştirilmiştir. Membranın daha gergin hale getirilmesi için vakum uygulanmıştır. Doğru ölçüm alınabilmesi için boşluk suyu basınç ölçer içerisindeki hava çıkarılmış ve kalıp ile bağlantıyı sağlayan hortum takılmıştır. Hazırlanan kalıp içerisine önceden ağırlığı belirlenmiş olan havası

alınmış su dökülmüştür. Ardından ağırlığı belirlenmiş olan kuru numuneler kalıp içerisine dökülerek sıkıştırılmıştır. Hazırlanan numunenin yüksekliği 5 ayrı noktasından ölçülmüştür. Ters basıncın sağlandığı hatta bağlı olan hortum üst başlığa takılmış ve üst başlık dikkatli şekilde numune üzerine yerleştirilmiştir. Üst platform, DSS-C cihazına yerleştirilmiş ve vidalanarak sabitlenmiştir. Üst platformun üst başlık ile bağlantısı yapıldıktan sonra kalıp üzerine kıvrılmış olan membran ve O-ringler üst başlık üzerine geçirilmiştir. Daha sonra mıkmatıslı kalıp çıkarılmış ve numunenin 3 ayrı noktasından çap ölçümü kumpas yardımıyla yapılmıştır. Yükseklik ve çap ölçümü yapılan numunenin rölatif sıklığı hesaplanmıştır. DSS-C hücresi deney aletine yerleştirilerek üst kapak yerine monte edilmiştir. Hücre içerisi havası alınmış su ile doldurulmuştur. Son olarak düşey ve yatay gerilmeleri uygulayacak olan kolların DSS-C'ye bağlantısı yapılmıştır. Şekil 3'te genel numune hazırlama aşamaları gösterilmiştir.



Şekil 3. (a) Numune hazırlama bileşenleri; (b) O-ringler ile alt tabana sabitlenmiş membran; (c) O-ringler ve mıkmatıslı kalıp; (d) kalıp üzerine kıvrılmış membran; (e) kalıp üzerine yerleştirilen üst başlık; (f) membran içerisindeki numune

3.4. Doygun pomza numunelerinde drenajlı ve drenajsız dinamik basit kesme deneyleri

Bölüm 3.2'de anlatılan yöntemle doygun hale getirilen pomza numunelerinin drenajlı ve drenajsız durumdaki dinamik davranışlarının belirlenmesi amacıyla 6 adet dinamik basit kesme deneyi gerçekleştirilmiştir. Numuneler, ıslak yağmurlama yöntemiyle, çoğunlukla %30-40 rölatif sıklılarda hazırlanmıştır. Numuneleri doygun hale getirmek amacıyla, doyurma aşamasında numunelere artan ters basınç uygulanmıştır. Her ters basınç uygulanması sonunda deney aletine bağlı olan ters basınç vanası kapatılarak numuneye 50 kPa hücre basıncı

uygulanmış ve B kontrolü yapılmıştır. Numuneler doygun hale geldikten sonra 100 kPa düşey efektif gerilme altında izotropik olarak konsolide edilmişlerdir. Konsolidasyon sonrasında numunenin rölatif sıklığı tekrar hesaplanmıştır. Numunelerin son rölatif sıklıkları çoğunlukla %45-%55 olarak bulunmuş ve orta sıkı olarak tanımlanmışlardır.

Son olarak, gerilme kontrollü dinamik deneyler gerçekleştirilmiştir. Numuneler 1 Hz frekansta ve farklı dinamik gerilme oranlarında (0.2, 0.25, 0.3) sinüzoidal yüklemelere tabi tutulmuştur. Drenajsız deneyler, aşırı boşluk suyu basıncı oranı $r_u = 1$ değerine ulaştığında sonlandırılmıştır. Drenajsız

deneylerde oluşan aşırı boşluk suyu basıncı ve birim kayma deformasyonu; drenajlı deneylerde hacimsel deformasyon ve birim kayma deformasyonu belirlenmiştir.

4. Bulgular

4.1. Doygun pomza numuneleri üzerinde yapılan gerilme kontrollü drenajsız dinamik basit kesme deneyleri

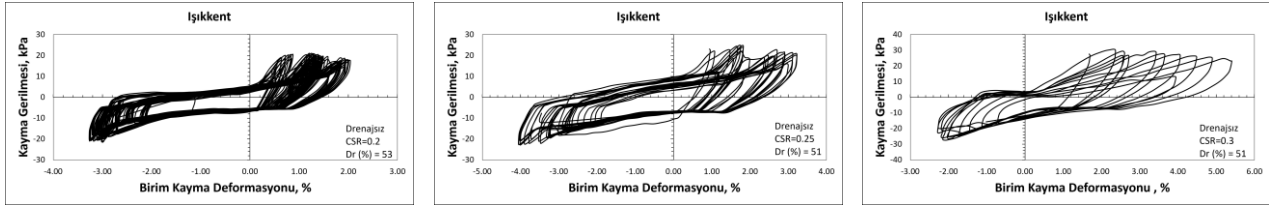
İnceleme alanından örselenmiş olarak alınan zemin numunelerinin, dinamik basit kesme deney aletinde ilk olarak drenajsız davranışları incelenmiştir. 3 farklı dinamik gerilme oranında drenajsız deney yapılmıştır ve sonuçlar Tablo 2’de verilmiştir.

Tekrarlı yüklemeler, numuneler sıvılaşıp dek uygulanmıştır. Uygulanan tekrarlı yüklemeler sonucunda numunelere ait histerezis eğrileri çizilmiştir. Farklı dinamik gerilme oranlarındaki histerezis eğrileri Şekil 4’te verilmiştir.

Tablo 2. Drenajsız dinamik basit kesme deney sonuçları

Test No	DGO	S (%)	D _r (%)	σ'_v (kPa)	$r_{u\max}$	γ (%) @ N=5	γ (%) @ N=10
I-1	0.2	100	53	100	1.02	1.70	1.90
I-2	0.25	100	51	100	1.12	2.28	2.98
I-3	0.3	100	51	100	1.15	2.60	2.87

Burada; S, doygunluk oranı; D_r, rölatif sıkılık; σ'_v , düşey efektif gerilme; γ (%) @ N=5, 5. çevrimdeki birim kayma deformasyonu; γ (%) @ N=10, 10. çevrimdeki birim kayma deformasyonudur.



(a)

(b)

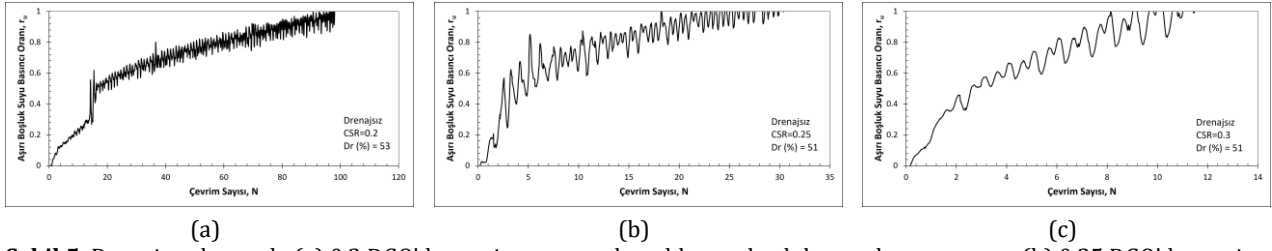
(c)

Şekil 4. Drenajsız Işıkkent deney numuneleri; (a) 0.2 DGO histerezis eğrileri; (b) 0.25 DGO histerezis eğrileri; (c) 0.3 DGO histerezis eğrileri

Drenajsız deney sonuçları incelendiğinde, DGO=0.2 seviyesinde elde edilen eğriler, ± 1.0 - 1.5% birim kayma deformasyon aralığında sınırlı kalmıştır. Bu durum, zemin örneğinin düşük dinamik gerilme seviyelerinde yapısal bütünlüğünü ve rijitliğini koruduğunu, dolayısıyla önemli bir dayanım kaybı ya da büyük deformasyon göstermediğini ortaya koymuştur. DGO=0.25 seviyesinde ise histerezis eğrileri belirgin şekilde büyümüş, deformasyon aralığı artarak ± 2.0 - 2.5% seviyelerine ulaşmıştır. Bu durum, zeminde kalıcı deformasyonların oluştuğunu ve dinamik yükleme altında plastisite davranışının başladığını göstermektedir. DGO=0.3 seviyesi için elde edilen eğrilerde, zeminin dinamik yüklemeye karşı gösterdiği dayanımın önemli ölçüde azaldığını göstermektedir. Histerezis eğrileri çok daha geniş hale gelmiş ve kayma deformasyonları ± 3.0 - 3.5% seviyesini aşmıştır. Dinamik gerilme oranının artmasıyla birlikte numunelere ait histerezis eğrilerinin, büyümesi ve yatık hale gelmesi, numunelerin daha fazla birim kayma deformasyonuna maruz kaldığı açıkça belirlenmiştir. Ayrıca, drenajsız

deneyler numuneler sıvılaştığında sonlandırıldığından, düşük dinamik gerilme oranlarında çevrim sayısının daha fazla olması histerezis eğrilerinin sayısının da artmasına neden olmuştur. Birim kayma deformasyonu-kayma gerilmesi grafikleri de bu durumu açıkça ortaya koymaktadır.

Dinamik gerilme oranının aşırı boşluk suyu basıncı oranı üzerindeki etkisi Şekil 5’te gösterilmiştir. Aşırı boşluk suyu basıncı, çevrim sayısı cinsinden kaydedilmiştir.

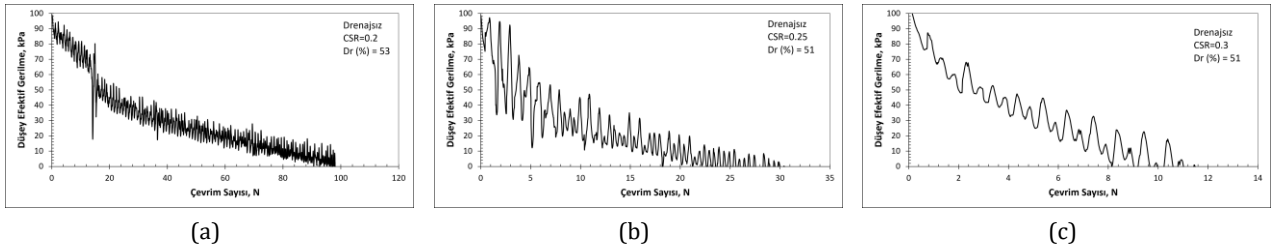


Şekil 5. Drenajsız durumda (a) 0.2 DGO'da çevrim sayısına karşılık aşırı boşluk suyu basıncı oranı; (b) 0.25 DGO'da çevrim sayısına karşılık aşırı boşluk suyu basıncı oranı; (c) 0.3 DGO'da çevrim sayısına karşılık aşırı boşluk suyu basıncı oranı

Çevrim sayısı-aşırı boşluk suyu basıncı grafikleri incelendiğinde, 0.2 dinamik gerilme oranı altında gerçekleştirilen deneyde, r_u değerinin çevrim sayısı ile birlikte düzenli ve kontrollü bir şekilde arttığı gözlemlenmiştir. Yaklaşık 90 çevrim sonunda $r_u = 1.0$ seviyelerine ulaşılmıştır. Bu durum, DGO=0.2 seviyesinde, zemin yapısının dinamik yüklemeye karşı dirençli olduğunu göstermektedir. Eğrideki düşük eğim, boşluk suyu basıncı birikiminin yavaş gerçekleştiğini ve zemin dayanımının büyük ölçüde korunduğunu ortaya koymaktadır. DGO=0.25 seviyesinde ise r_u değeri daha kısa sürede artış göstererek yaklaşık 22 çevrimde 1.0 seviyesine

ulaşmıştır. 0.3 dinamik gerilme oranında, r_u değeri yalnızca 9 çevrim içerisinde 1.0 seviyesine ulaşarak en hızlı artışı göstermiştir. Eğrinin eğimi oldukça dik olup, zeminde çok kısa sürede aşırı boşluk suyu oluştuğu ve sıvılaştığı anlaşılmaktadır. Bu durum, zeminin yüksek çevrimsel yüklemelere karşı dayanımının yetersiz olduğunu ve sıvılaşma açısından kritik bir davranış sergilediğini açıkça ortaya koymaktadır.

Numunelerin, çevrim sayısına karşılık düşey efektif gerilme grafikleri Şekil 6'da gösterilmiştir.

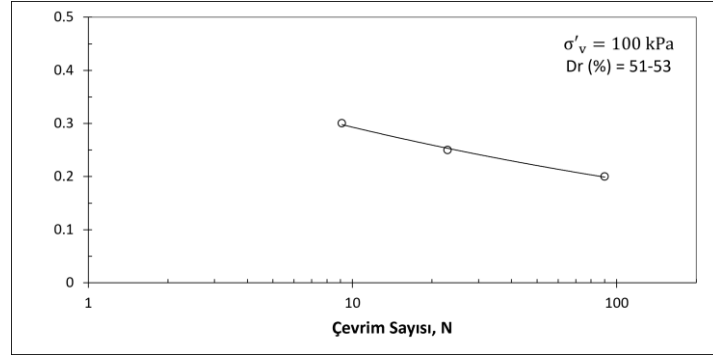


Şekil 6. Drenajsız durumda (a) 0.2 DGO'da çevrim sayısına karşılık düşey efektif gerilme; (b) 0.25 DGO'da çevrim sayısına karşılık düşey efektif gerilme; (c) 0.3 DGO'da çevrim sayısına karşılık düşey efektif gerilme

Çevrim sayısı-düşey efektif gerilme grafikleri incelendiğinde, numuneler başlangıçta 100 kPa efektif gerilmeye sahipken DGO değerinin 0.20 olduğu durumda, düşey efektif gerilmede çevrim sayısına bağlı olarak kademeli bir azalma gözlemlenmiştir. Yaklaşık 90 çevrim boyunca efektif gerilme sürekli olarak azalmıştır. Bu durum, düşük dinamik gerilme altında zemin yapısının daha uzun süre stabil kaldığını, boşluk suyu basıncının artış hızının görece olarak düşük olduğunu ve zemin yapısının taşıma kapasitesinin aşamalı olarak azaldığını göstermiştir. DGO'nun 0.25'e yükseltilmesiyle birlikte, düşey efektif gerilmede daha hızlı ve belirgin bir azalma meydana gelmiştir. Efektif gerilme yalnızca 22 çevrim içerisinde sıfıra ulaşarak zemin yapısının taşıma gücünü tamamen kaybettiğini göstermiştir. Bu durum, boşluk suyu basıncının daha kısa sürede kritik seviyelere ulaştığını ve sıvılaşma koşullarının hızla

gerçekleştiğini ortaya koymaktadır. En yüksek çevrimsel gerilme oranı olan DGO=0.30 durumunda, düşey efektif gerilme yalnızca 9 çevrim sonunda sıfıra ulaşmıştır. Bu durum, zemin numunesinin çok kısa sürede boşluk suyu basıncındaki artış nedeniyle tamamen taşıma kapasitesini kaybettiğini ve sıvılaşmanın hızlı bir şekilde meydana geldiğini göstermektedir. Eğrinin daha dik bir eğime sahip olması, boşluk suyu basıncındaki hızlı artışa bağlı olarak efektif gerilmenin çok daha kısa sürede sıfırlandığını göstermektedir. Bu davranış, zemin numunesinin yüksek sismik gerilmelere karşı düşük çevrimsel dayanım sergilediğini ortaya koymaktadır.

Yapılan drenajsız deneylerde aşırı boşluk suyu basıncı oranı $r_u = 1$ değerine ulaşması için gereken çevrim sayısı ile dinamik gerilme oranı Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. farklı DGO değerlerine karşılık Işıkkent numunesinin sıvılaşması için gereken çevrim sayısı

4.2. Doygun pomza numuneleri üzerinde yapılan gerilme kontrollü drenajlı dinamik basit kesme deneyleri

Drenajlı deneylerin doyurma ve konsolidasyon aşamaları drenajsız deneyler ile aynı şekilde

gerçekleştirilirken tekrarlı yüklemeler öncesinde deney aletine bağlı ters basınç vanası açılarak drenaja izin verilmiştir. Drenajlı deneyler de drenajsız deneylerde olduğu gibi 3 farklı dinamik gerilme oranında gerçekleştirilmiş ve sonuçlar Tablo 3'te verilmiştir.

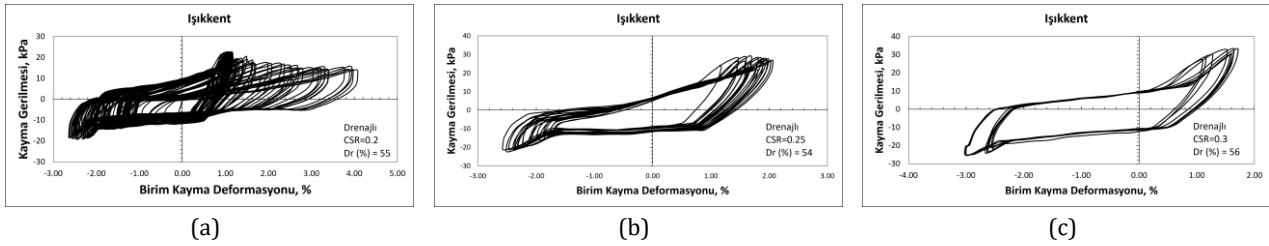
Tablo 3. Drenajlı dinamik basit kesme deney sonuçları

Test No	DGO	S (%)	Dr (%)	σ'_v (kPa)	ε_{vmax} (%)	γ (%) @ N=5	γ (%) @ N=10
I-1	0.2	100	55	100	0.86	1.03	1.20
I-2	0.25	100	54	100	1.46	2.01	1.92
I-3	0.3	100	56	100	2.24	2.12	2.21

Burada; ε_{vmax} , maksimum hacimsel deformasyonu temsil etmektedir.

Drenajlı deneylerdeki çevrim sayısı, drenajsız deneylerde numunelerin sıvılaştığı çevrim sayısına eşit olarak uygulanmıştır. Uygulanan tekrarlı yüklemeler sonucunda numunelere ait histerezis

eğrileri çizilmiştir. Drenajlı deneyler sonucunda numunelerin 3 farklı dinamik gerilme oranındaki histerezis eğrileri Şekil 8'de gösterilmiştir.



Şekil 8. Drenajlı Işıkkent deney numuneleri; (a) 0.2 DGO histerezis eğrileri; (b) 0.25 DGO histerezis eğrileri; (c) 0.3 DGO histerezis eğrileri

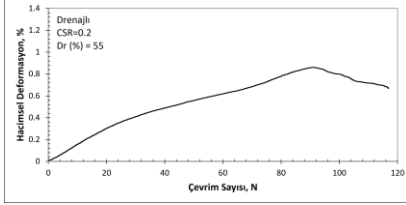
Drenajlı deneylerin sonuçlarını drenajsız deneyler ile karşılaştırmak amacıyla numunelere uygulanan çevrim sayısı, drenajsız deneylerde sıvılaşmanın gerçekleştiği çevrim sayısı ile aynı tutulmuştur.

Drenajlı deney sonuçları incelendiğinde, DGO=0.2 yükleme seviyesinde kayma deformasyonu yaklaşık $\pm 0.5-1.0\%$ aralığında sınırlı kalmıştır. Çevrimler boyunca deformasyonların yavaş ve kontrollü bir şekilde arttığı gözlemlenmiştir. Drenajlı koşulların etkisiyle boşluk suyu basıncı oluşmadığı için kayma gerilmesi değerleri kararlılığını korumuş, zemin numunesinde belirgin bir hasar ya da ani rijitlik kaybı meydana gelmemiştir. Bu durum, zemin iskeletinin

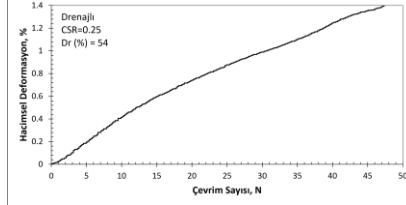
yükleme boyunca yapısal stabilitesini koruduğunu göstermektedir. DGO oranının 0.25'e yükseltilmesiyle birlikte kayma deformasyonlarının aralığı $\pm 1.0-1.5\%$ seviyelerine ulaşmıştır. Çevrim sayısı arttıkça histerezis eğrilerinde belirgin genişleme gözlemlenmiştir. Bu, zemin içinde plastik deformasyonların başladığını göstermektedir. Drenaj koşulları sayesinde sıvılaşmaya neden olabilecek boşluk suyu basıncı oluşumu önlenmiş olsa da yapı içi sürtünme kayıpları ve yeniden düzenlenmeler deformasyon davranışına yansımıştır. Zemin, bu yükleme düzeyinde artık daha fazla kalıcı deformasyon üretmekte ve elastik sınırlardan uzaklaşmaktadır. En yüksek dinamik gerilme oranı

olan $DGO=0.30$ değerinde, kayma deformasyonları artarak $\pm 1.5-2.0\%$ seviyelerine ulaşmıştır. Histerezis eğrilerinin yapısı belirgin şekilde genişlemiş ve zemin plastikleşmiştir. Bu durum çevrimsel yüklemeye birlikte zemin yapısının ilerleyici deformasyonlar ürettiğini ortaya koymaktadır. Artan çevrim sayısı ile birlikte deformasyon maksimum düzeyine ulaşmıştır.

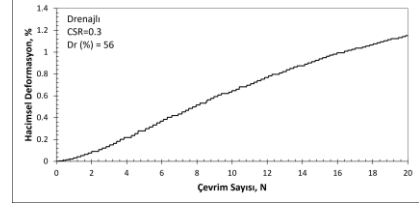
Drenajlı deneylerde dinamik gerilme oranının numunelerde oluşan hacimsel deformasyon üzerindeki etkisi incelenmiştir. Farklı dinamik gerilme oranlarındaki çevrim sayısına karşılık hacimsel deformasyon grafikleri Şekil 9'da gösterilmiştir.



(a)



(b)

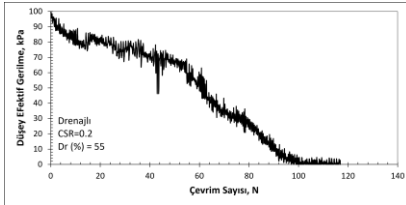


(c)

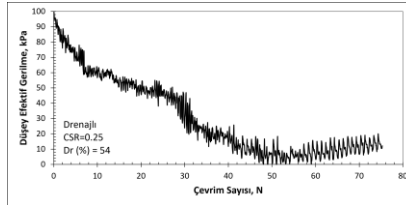
Şekil 9. Drenajlı durumda (a) 0.2 DGO'da çevrim sayısına karşılık hacimsel deformasyon; (b) 0.25 DGO'da çevrim sayısına karşılık hacimsel deformasyon; (c) 0.3 DGO'da çevrim sayısına karşılık hacimsel deformasyon

Drenajlı deneylerde, numunelerde hacimsel deformasyon meydana geldiği belirlenmiştir. Çevrim sayısı-hacimsel deformasyon grafikleri incelendiğinde dinamik gerilme oranı ve çevrim sayısı arttıkça numunelerde oluşan hacimsel deformasyonlar da artmaktadır. En fazla hacimsel deformasyon 0.2 DGO değerinde

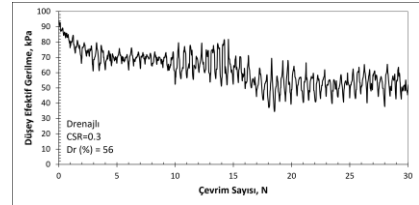
Drenajlı deneyler boyunca çevrim sayısına karşılık düşey efektif gerilme grafikleri çizilmiş ve Şekil 10'da gösterilmiştir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 10. Drenajlı durumda (a) 0.2 DGO'da çevrim sayısına karşılık düşey efektif gerilme; (b) 0.25 DGO'da çevrim sayısına karşılık düşey efektif gerilme; (c) 0.3 DGO'da çevrim sayısına karşılık düşey efektif gerilme

Çevrim sayısı-düşey efektif gerilme grafikleri incelendiğinde çevrim sayısı arttıkça numunelerin efektif gerilmelerinin de azaldığı açıkla görülmektedir. Ayrıca aynı çevrim sayısında, 0.3 dinamik gerilme oranındaki düşey efektif gerilme en düşük, 0.2 dinamik gerilme oranındaki düşey efektif gerilme en büyük değeri almıştır. Bu durum drenajsız deneylerin bulguları ile uyum göstermektedir.

4.3. Drenajsız ve drenajlı dinamik basit kesme deney sonuçlarının kayma modülü açısından karşılaştırılması

Drenajsız ve drenajlı dinamik basit kesme deneyi sonuçlarının karşılaştırması için öncelikle numunelere ait sekant kayma modülü G_{sec} Denklem 2 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$G_{sec} = \frac{\tau_{cyc}}{\gamma_{cyc}} \quad (2)$$

Burada; τ_{cyc} , tekrarlı kayma gerilmesi, γ_{cyc} , tekrarlı birim kayma şekil değiştirmesidir.

Işıkkent numunesinin alındığı bölgeye ait yapılan arazi çalışmalarında, pomza zemininin bulunduğu derinlikteki kayma dalgası hızı (V_s), yüzey dalgası analizi (MASW) ile belirlenmiştir. Elde edilen V_s , Kanai (1966), Shibata (1970), Ohta ve Goto (1978), Imai ve Tonouchi (1982), Seed vd. (1983), Sykora ve Stokoe (1983), Seed vd. (1986), Yoshida vd. (1988), Lee (1992), Dickenson (1994), Pitilakis vd. (1999), Piratheepan (2002), Hasncebi ve Ulusay (2007) tarafından önerilen bağıntılar kullanılarak V_s hesaplanmıştır [35]. Elde edilen V_s değerleri arasında, MASW analizinden elde edilene en yakın değer, Sykora ve Stokoe (1983) tarafından önerilen bağıntıyla hesaplanmıştır. İlgili V_s değeri Denklem 3 ile belirlenmiştir.

$$V_s = 100.6 N_{60}^{0.29} \quad (3)$$

Burada; N_{60} , teorik serbest düşme tokmak enerjisinin %60'ına göre düzeltilmiş vuruş sayısıdır.

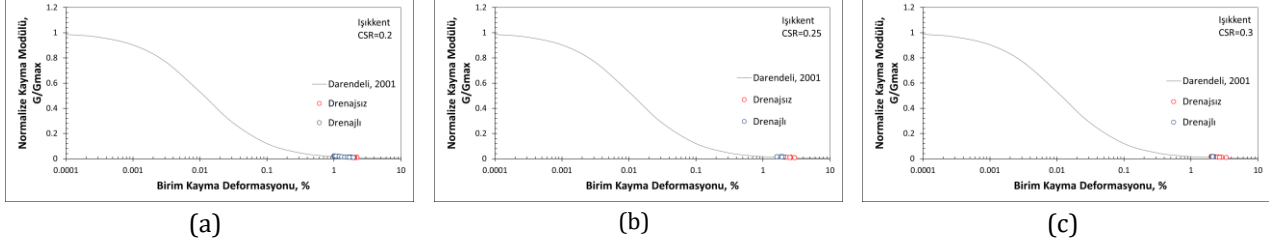
Zemin numunelerine ait V_s değeri hesaplandıktan sonra Denklem 4 kullanılarak zemine ait maksimum kayma modülü (G_{max}) tahmin edilmiştir.

$$G_{max} = \rho V_s^2 \quad (4)$$

Burada; ρ , yoğunluk, V_s , kayma dalgası hızıdır.

Drenajsız ve drenajlı durum için elde edilen G_{sec} ve G_{max} kullanılarak normalize kayma modülü

(G_{sec}/G_{max}) değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan G_{sec}/G_{max} değerlerine karşılık logaritmik birim kayma deformasyonu grafikleri çizilmiştir. Ayrıca karşılaştırma amacıyla Darendeli (2001) tarafından temiz kumlar için önerilen logaritmik birim kayma deformasyonu-normalize kayma modülü eğrisi de eklenmiş ve Şekil 11'de gösterilmiştir [36].

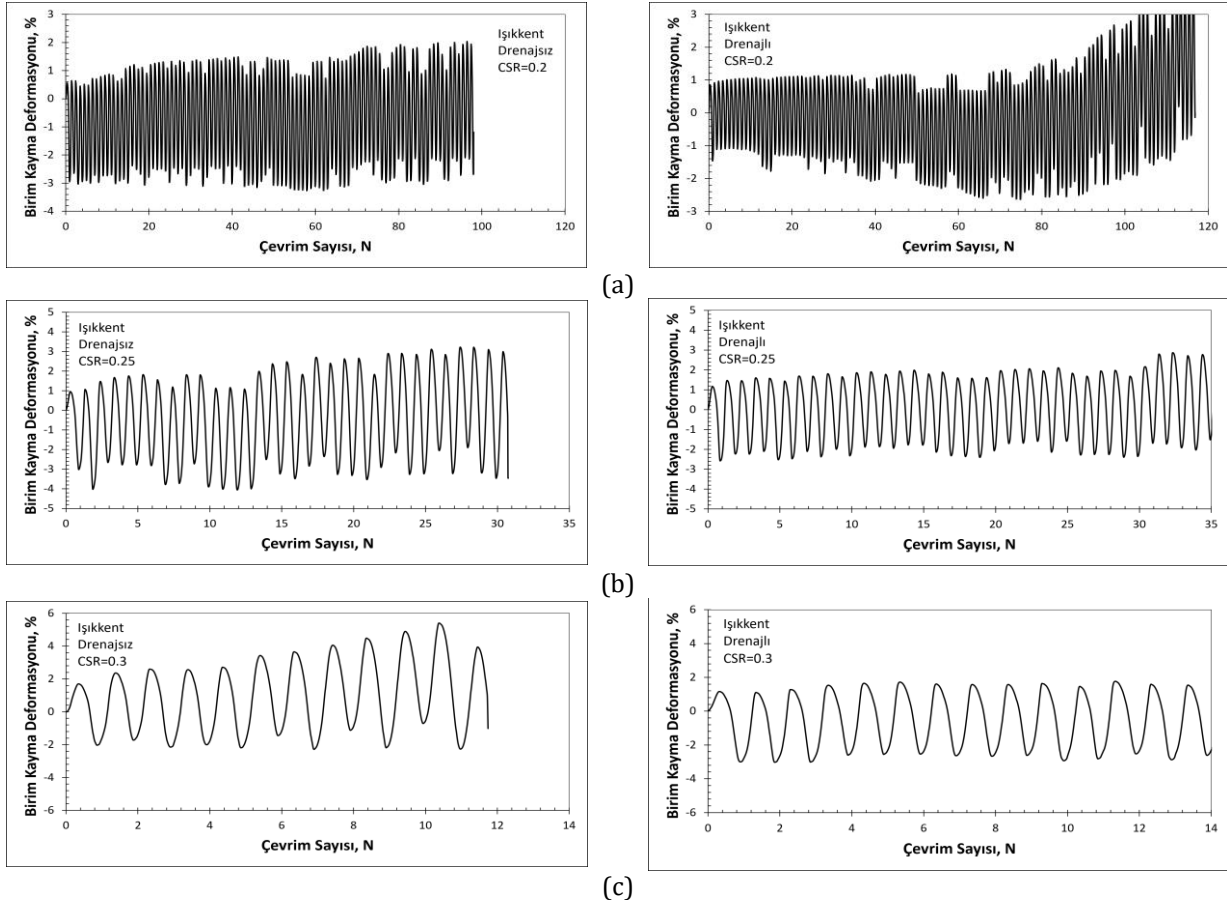


Şekil 11. (a) 0.2 DGO değerinde kayma modülü eğrileri; (b) 0.25 DGO değerinde kayma modülü eğrileri; (c) 0.3 DGO değerinde kayma modülü eğrileri

Drenajsız ve drenajlı deneylere ait birim kayma deformasyonu-normalize kayma modülü grafikleri incelendiğinde, deney numunelerine ait G_{sec}/G_{max} değerinin oldukça küçük değerlerde kaldığı görülmektedir. Bu durum, deneylerde uygulanan DGO değerlerinin yüksek olması ve deney aletinin küçük deformasyonları uygulayamayışından kaynaklanmaktadır.

4.4. Drenajsız ve drenajlı dinamik basit kesme deney sonuçlarının birim kayma deformasyonu açısından karşılaştırılması

Yapılan drenajsız ve drenajlı deneyler sonucunda, çevrim sayısına bağlı olarak numunelerde oluşan birim kayma deformasyonları belirlenmiş ve çevrim sayısı-birim kayma deformasyonu grafikleri Şekil 12'de sunulmuştur.



Şekil 12. (a) 0.2 DGO'da drenajsız ve drenajlı birim kayma deformasyonu; (b) 0.25 DGO'da drenajsız ve drenajlı birim kayma deformasyonu; (c) 0.3 DGO'da drenajsız ve drenajlı birim kayma deformasyonu

Şekil (a), (b) ve (c)'de sunulan grafikler, farklı DGO değerleri altında (0.2, 0.25 ve 0.3) drenajlı ve drenajsız koşullarda elde edilen birim kayma deformasyonu (%) ile çevrim sayısı (N) arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Drenajsız deneylerde, çevrim sayısı ilerledikçe deformasyon genliğinde artış gözlenmiş ve bu durum özellikle CSR=0.3 için belirgin hale gelmiştir. CSR=0.2 durumunda deformasyonlar yaklaşık $\pm 1.0-1.5\%$, CSR=0.25 için $\pm 2.0-2.5\%$, CSR=0.3 için ise $\pm 3.0-3.5\%$ seviyelerine ulaşmıştır.

Drenajlı koşullarda ise benzer DGO değerlerine rağmen deformasyon genlikleri daha sınırlı kalmış, bu durum drenajın boşluk suyu basıncı oluşumunu engellemesi ile açıklanabilir. DGO=0.2 için deformasyonlar $\pm 0.5-1.0\%$, CSR=0.25 için $\pm 1.0-1.5\%$ ve CSR=0.3 için $\pm 1.5-2.0\%$ seviyelerinde kalmıştır. Drenajlı deneylerde çevrim sayısına bağlı olarak deformasyonların kararlı seyrettiği gözlenmektedir.

Genel olarak, artan DGO değerleri deformasyon genliğinde belirgin bir artışa neden olmuş, bu etki drenajsız koşullarda daha belirgin hale gelmiştir. Bu durum, numunelerin rijitlik kaybı ve plastik deformasyon gelişimi açısından değerlendirilmesinde drenaj koşullarının kritik bir rol oynadığını ortaya koymaktadır.

4. Tartışma ve Sonuç

Bu araştırmada, Isparta'nın Işıkkent Mahallesi'nden alınan pomza içeren zeminlerin doymun durumdaki drenajsız ve drenajlı dinamik davranışları DSS-C deney aleti ile incelenmiştir. Deney sonuçlarının karşılaştırılabilmesi amacıyla tüm numuneler aynı rölatif sıklıkta ıslak yağmurlama yöntemiyle hazırlanmış ve doymun hale getirildikten sonra 100 kPa efektif gerilme değerinde konsolide edilmiştir. Konsolide olan numuneler, deney kriterine göre drenajsız veya drenajlı olarak 1 Hz frekansta tekrarlı yüklemelere tabi tutulmuştur. Deneyler 0.2, 0.25 ve 0.3 olmak üzere 3 farklı dinamik gerilme oranında gerilme kontrollü olarak gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen dinamik deneyler ile aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

1. Drenajsız ve drenajlı koşullarda gerçekleştirilen dinamik deneylerde, histerezis eğrileri incelendiğinde, dinamik gerilme oranı ve çevrim sayısındaki artışın numunelerde daha büyük kayma deformasyonlarına neden olduğu gözlemlenmiştir. Drenajlı deneylerde histerezis eğrileri daha simetrik ve küçük kalarak zemin davranışının daha kararlı olduğunu ortaya koymuştur.
2. Drenajsız deneylerde, DGO'nun artmasıyla birlikte dinamik yüklemelere karşı zemin dayanımı belirgin biçimde azalmıştır. DGO=0.2 seviyesinde $r_u = 1.0$ değerine 90 çevrimde ulaşırken, CSR=0.3 için bu sayı yalnızca 9 çevrim

olarak belirlenmiştir. Bu sonuç, pomza içeren zeminlerin drenajsız koşullarda düşük DGO seviyelerinde dahi çevrimsel yüklemeye karşı sınırlı direnç gösterebildiğini ortaya koymaktadır.

3. Drenajlı deneylerde dinamik gerilme oranı ve çevrim sayısı arttıkça hacimsel deformasyonun da arttığı görülmüştür.
4. Drenajsız koşullarda yapılan deneylerde, DGO'nun artışıyla birlikte efektif gerilme değerlerinde daha hızlı ve ani düşüşler gözlemlenmiştir. Bu durum, artan çevrim sayısı ile boşluk suyu basıncındaki hızlı artıştan kaynaklanmaktadır.
5. Drenajlı koşullarda ise çevrim sayısına karşı efektif gerilme kayıpları daha yavaş gerçekleşmiş ve deformasyonlar daha dengeli bir seyir izlemiştir. Bu davranış, drenajın sağlanması ile birlikte boşluk suyu basıncı oluşmaması sayesinde efektif gerilmenin korunmasına bağlanmaktadır. Bu durum özellikle kayma gerilmesi-birim deformasyon eğrilerinde belirginleşmiştir.
6. Drenajsız ve drenajlı deney sonuçlarından elde edilen G_{sec}/G_{max} değerleri, uygulanan yüksek DGO değeri sebebiyle düşük değer almıştır. Daha düşük DGO değerlerinde dinamik deneyler gerçekleştirilerek daha büyük G_{sec}/G_{max} değerleri elde edilebilir.
7. Drenajlı ve drenajsız deneylerde, uygulanan çevrim sayısına bağlı olarak numunelerde oluşan birim kayma deformasyonları belirlenmiştir. Drenajsız deneylerde oluşan birim kayma deformasyonu, aynı çevrim sayısındaki drenajlı duruma kıyasla daha büyük olmuştur.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, literatürde üzerine çok fazla çalışma bulunmayan pomza zeminin dinamik davranışını anlaşılması için değerli bulgular olarak kabul edilebilir.

Teşekkür

Bu çalışma, İstanbul Teknik Üniversitesi Zemin Laboratuvarı'nda bulunan VJ Tech DSS-C cihazı kullanılarak yapılmıştır. Yazarlar, İstanbul Teknik Üniversitesi'ne ve araştırma süresince sağladıkları destekler için Prof. Dr. Gürkan ÖZDEN ve Doç. Dr. E. Ece BAYAT'a teşekkür eder.

Etik Beyanı

Bu çalışmada, "Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi" kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, bahsi geçen yönergenin "Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine

Aykırı Eylemler” başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini taahhüt ederiz.

Kaynakça

- [1] Korkmaz, H. 2006. Antakya’da Zemin Özellikleri ve Deprem Etkisi Arasındaki İlişki. Coğrafi Bilimler Dergisi, 4(2), 49-66.
- [2] Balyemez, S., Berköz, L., 2010. Hasar Görebilirlik ve Kentsel Deprem Davranışı. İtühergisi/a, 4(1).
- [3] Kuşçu, M., Gedikoğlu, A., 1990. Isparta-Gölcük Yöresi Pomza Yataklarının Jeolojik Konumu. Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 14(2), 69-78.
- [4] Wesley, L. D. 2001. Determination of Specific Gravity and Void Ratio of Pumice Materials. Geotech. Test. J., 24 (4), 418-422.
- [5] Pender, M. J., Wesley, L., Larkin, T., Pranjoto, S. 2006. Geotechnical Properties of a Pumice Sand. Soils and Foundations, 46(1), 69-81.
- [6] Kikkawa, N., Pender, M. J., Orense, R. P., StGeorge, J. D., Matsushita, E. 2012. K_0 Compression and Stress Relaxation of Pumice Sand. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 138(5), 625-628.
- [7] Kikkawa, N., Orense, R. P., Pender, M. J. 2013. Observations on Microstructure of Pumice Particles Using Computed Tomography. Canadian Geotechnical Journal, 50(11), 1109-1117.
- [8] Asadi, M. S., Asadi, M. B., Orense, R. P., Pender, M. J. 2018. Undrained Cyclic Behavior of Reconstituted Natural Pumiceous Sands. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 144(8), 04018045.
- [9] Marks, S., Larkin, T. J., Pender, M. J. 1998. The Dynamic Properties Of A Pumiceous Sand. Bulletin of the New Zealand National Society for Earthquake Engineering, 31(2), 86-102.
- [10] Teachavorasinskun, S., Thongchim, P., Lukunaprasit, P. 2002. Shear Modulus and Damping of Soft Bangkok Clays. Canadian Geotechnical Journal, 39(5), 1201-1208.
- [11] Altun, S., ve Ansal, A. 2003. Tekrarlı Yükler Altında Kumların Gerilme-Şekil Değiştirme Özellikleri. İtühergisi, 2(4), 25-34.
- [12] Okada, W., Terzaghi, S., Cooper, J. Q., Patel, M. A., Adhikary, T. P. 2003. Seismic Design of a Highway in Pumiceous Land. In Proceedings of the 7th Pacific Conference on Earthquake Engineering, Christchurch, New Zealand, 1-10.
- [13] Sitharam, T.G., Govindaraju, L., Sridharan, A., 2004. Dynamic Properties and Liquefaction Potential. Geotechnics and Earthquake Hazards, 87, 1370-1378.
- [14] Elibol, B., Erken, A. 2005. Doygun, Kısmi Doygun ve Kuru Kum Numunelerin Dinamik Davranışlarının İncelenmesi. Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Kongresi, Antalya, 1-11.
- [15] Meidani M., Shafiee A., Habibagahi G., Jafari M. K., Mohri Y., Ghahramani A., Chang C. S. 2008. Granule Shape Effect on the Shear Modulus and Damping Ratio of Mixed Gravel and Clay. Iranian Journal of Science and Technology, 32, 501-518.
- [16] Salvati, L., Anhdan, L., 2008. Rate-Dependent Response of Dense Sand in Cyclic Triaxial Tests. Soils Found., 48, 447-451.
- [17] Cai, Y., Dong, Q., Wang, J., Gu, C., Xu, C. 2015. Measurement of Small Strain Shear Modulus of Clean and Natural Sands in Saturated Condition Using Bender Element Test. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 76, 100-110.
- [18] Karakan, E., Altun, S. 2016. Silt Kum Karışımlarının Sıvılaşma Davranışı ve Sıvılaşma Sonrası Hacimsel Deformasyon Özellikleri. Teknik Dergi, 27(4), 7593-7617.
- [19] Monkul, M. M., Yenigün, Ş., Bayat, E. E. 2017. Kuru Kum Numunelerin Sismik Sıvılaşma Potansiyelinin Dinamik Basit Kesme Deneyinden Belirlenmesi. 7. Geoteknik Sempozyumu, 22-24 Kasım, İstanbul, 697-705.
- [20] Asadi, M. B., Asadi, M. S., Orense, R. P., Pender, M. J. 2018. Shear Wave Velocity-Based Assessment of Liquefaction Resistance of Natural Pumiceous Sands. Géotechnique Letters, 8(4), 262-267.
- [21] Hubler, J.F., Athanasopoulos-Zekkos, A., Zekkos, D. 2018. Monotonic and Cyclic Simple Shear Response of Gravel-Sand Mixtures. Soil Dyn. Earthq. Eng., 115, 291-304.
- [22] Sönmezer, Y. B. 2020. Siltli Kumlarda Gerilme Kontrollü ve Deformasyon Kontrollü Sıvılaşma Testlerinin Karşılaştırılması. El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi, 7(1), 322-337.
- [23] Rui, S., Guo, Z., Si, T., Li, Y. 2020. Effect of Particle Shape on the Liquefaction Resistance of Calcareous Sands. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 137, 106302.
- [24] Zhu, Z., Zhang, F., Peng, Q., Dupla, J. C., Canou, J., Cumunel, G., Foerster, E. 2021. Effect of the Loading Frequency on the Sand Liquefaction Behaviour in Cyclic Triaxial Tests. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 147, 106779.
- [25] Marzuni, S. S., Fadaee, M., Bahmanpour, A., Derakhshandi, M. 2022. Effect of Cyclic Stress Ratio and Non-Plastic Fines Content on the Liquefaction Potential of Sandy and Silty Soil in Cyclic Triaxial Testing. Soil Mechanics and Foundation Engineering, 58(6), 467-473.

- [26] Chaneva, J., Kluger, M. O., Moon, V., Lowe, D. J., Orense, R. 2024. Influence of Pumice and Fines Contents on the Extent of Particle Crushing in Pumiceous Sand-Silt Mixtures During Undrained Cyclic Triaxial Loading. Japanese Geotechnical Society Special Publication, 10(27), 1007-1012.
- [27] Gardiner, E., Stringer, M., Rees, S. 2024. Liquefaction Resistance of Soils with Differing Pumice Content. Japanese Geotechnical Society Special Publication, 10(21), 803-808.
- [28] ASTM C117-23. 2023. Standard Test Method for Materials Finer than 75- μ m (No. 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing.
- [29] ASTM C136/C136M-19. 2020. Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregate.
- [30] ASTM D4318-17e1. 2018. Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils.
- [31] ASTM D854-23. 2023. Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by the Water Displacement Method.
- [32] ASTM C127-24. 2024. Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate.
- [33] ASTM D4253-16e1. 2019. Standard Test Methods for Maximum Index Density and Unit Weight of Soils Using a Vibratory Table.
- [34] Skempton, A. W. 1954. The Pore-Pressure Coefficients A and B. *Geotechnique*, 4(4), 143-147.
- [35] Wair, B. R., DeJong, J. T., Shantz, T. 2012. Guidelines for Estimation of Shear Wave Velocity Profiles. Pacific Earthquake Engineering Research Center.
- [36] Darendeli, B. M. 2001. Developpe of a new family of normalize modulus reduction and material damping curves. Ph. D. Dissertation, The University of Texas at Austin., 362 p.